

Meestal gebruikt men in modellen neerslaggegevens van één weerstation.

Zo veronderstelt men dat er over heel het onderzochte gebied evenveel regen valt als op de plaats waar de neerslag gemeten wordt.

Het ware karakter van neerslag is echter niet zo eenvoudig.

Nieuwe technieken m.b.v. radarbeelden worden nu gebruikt bij de ontwikkeling van een realistisch ruimtelijk neerslagmodel voor Vlaanderen.

---

**Gabriëlle De LANNOY**  
**1ste Prijs K VIV-Ingenieursprijzen**  
**Promotie 2001**



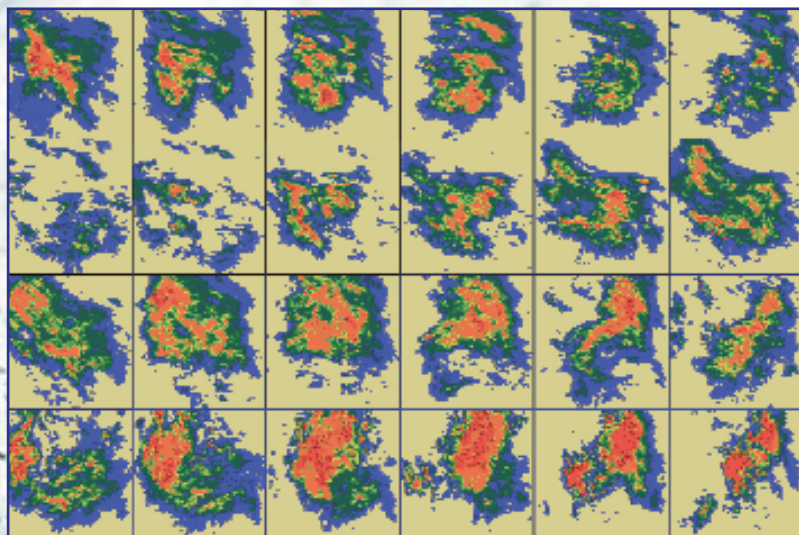
## Zoals het regent in Ukkel, regent

**N**eerslag speelt een belangrijke rol in de hydrologische cyclus. Zeer veel processen op aarde worden door neerslag gestuurd. Bedenken we maar hoe hevige regenbuien kunnen zorgen voor zeer grote debieten in waterlopen en eventueel zelfs overstromingen veroorzaken. De neerslag heeft bijvoorbeeld ook een grote impact op de plantengroei en gewasopbrengst.

Ter ondersteuning van het beheer van waterlopen, hydrologische bekkens en rioleringen en voor allerhande ontwerpbeslissingen, gebruikt men tegenwoordig dikwijls modellen. Neerslaggegevens worden gebruikt als invoer voor deze modellen (figuur 2). De modellen simuleren meestal processen over een bepaald gebied. Door gebrek aan informatie over de ruimtelijke structuur van neerslaggebeurte-

nissen, wordt voor de neerslag meestal per tijdstap één ruimtelijk constante waarde ingevoerd. Toch is het duidelijk dat neerslag ruimtelijk sterk heterogeen is en dat het op de ene plaats bijna nooit even hard regent als op de andere. Hebt u nog nooit meegemaakt dat u thuis vertrekt met een paraplu en hem op de hoek van de straat kunt sluiten?

Als men dan vereenvoudigde neerslaggegevens invoert in modellen, moet men ook niet verwonderd zijn dat dit leidt tot een beperkte nauwkeurigheid van de modelleringsresultaten en de daarop gebaseerde beslissingen. Dit probleem is aangepakt door bio-ingenieurs van de Universiteit Gent en burgerlijk ingenieurs van de Katholieke Universiteit Leuven. Op dit ogenblik wordt een operationeel ruimtelijk neerslagmodel voor Vlaanderen ontwikkeld. Dit model



Figuur 1 : Radarbeelden tonen duidelijk de vorm en structuur van neerslagbuien. Deze reeks beelden geeft informatie voor ieder uur van 8.00u op 06/03/1998 tot 8.00u op 07/03/1998. De intensiteit neemt toe naarmate de kleur op de beelden roder wordt.

# nt het nergens

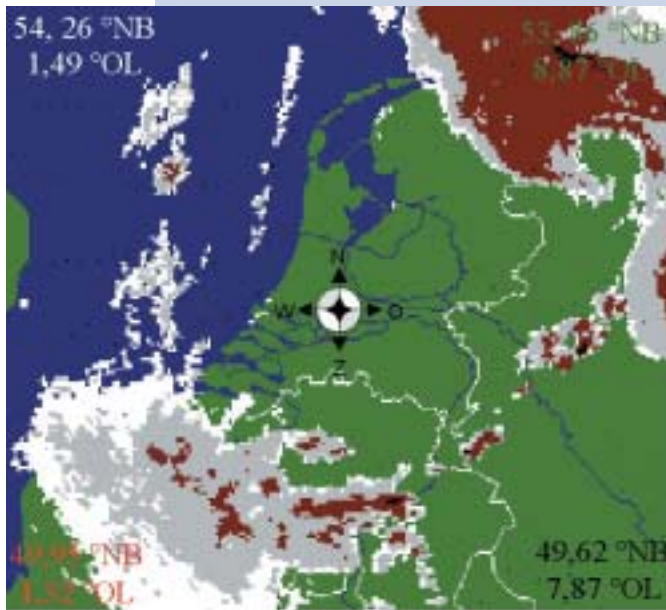
moet natuurgetrouwe neerslagvelden kunnen genereren. Het is nodig eerst de structuur van neerslag te onderzoeken, zodat de waargenomen ruimtelijke en temporele karakteristieken van neerslag kunnen gebruikt worden in de ontwikkeling van het model.

## Meting van neerslag

Neerslag kan op verschillende manieren gemeten worden. De klassieke regenmeters zijn het meest gebruikt. Deze meten echter slechts neerslag op één punt. Met satellietbeelden en radarbeelden van weerradars kunnen we de ruimtelijke patronen van neerslagintensiteiten wel zien [1]

(zie *figuur1*). In deze studie is gebruik gemaakt van beelden die opgenomen zijn door weerradars in Den Helder en De Bilt in Nederland. De beelden bestrijken een oppervlakte van  $480 \times 480 \text{ km}^2$  en bedekken geheel Nederland, het grootste deel van België en het westelijk deel van Duitsland. De grootte van de pixels is  $2,4 \times 2,4 \text{ km}^2$ . Er is per kwartier één beeld beschikbaar (zie *kaderstuk*).

De beelden zijn eerst voorbewerkt, omdat de ruwe gegevens niet direct bruikbaar zijn voor een gedetailleerde analyse. Gezien de grote hoeveelheid data, zijn alle ontwikkelde methoden in het onderzoek naar de structuur geautomatiseerd en kunnen de procedures gemakkelijk op reeksen radarbeelden van andere gebieden of voor andere dagen toegepast worden. Er moet opgemerkt worden dat



### Radarbeelden van een weerradar

Een radar is een actieve sensor van microgolfstraling. De antenne stuurt een stralenbundel uit die door het bestraalde doelwit kan gereflecteerd worden. Dezelfde antenne vangt de straling op, na reflectie op het doelwit. Het doelwit is hier een volume regendruppels. Uit het teruggekaatste signaal kan bepaald worden op welke manier het doelwit de straling reflecteert. Via wetmatigheden die het verband beschrijven tussen het reflectiegedrag van het bestraalde volume en de neerslagintensiteit, worden waarden voor de intensiteit berekend [2]. Aangezien de antenne ronddraait en de gereflecteerde straling gemakkelijk van 500 km ver nog vrij nauwkeurig kan geïnterpreteerd worden, zijn radarbeelden een product bij uitstek om de ruimtelijke structuur van neerslag te bestuderen. Bovendien kunnen aan een vrij hoge frequentie beelden opgenomen worden (figuur 1). Ieder beeld bestaat uit een raster of matrix met cijfers, die de intensiteit weergeven. Het vakje waarin elk cijfer zich bevindt, noemen we een pixel.

■ Een radarbeeld van 5 juli 1999 om 4.15u.

alle voorgestelde methoden volledig nieuw ontwikkeld zijn.

## Structuur van neerslag

De structuurelementen in een neerslagbui worden algemeen kwalitatief beschreven op basis van hun uitgestrektheid en levensduur [3]. Meestal onderscheidt men in volgorde van afnemende uitgestrektheid en levensduur synoptische oppervlakken, grote en kleine mesoschaalgebieden, "clusters" en cellen. Dit wordt schematisch voorgesteld in figuur 3.

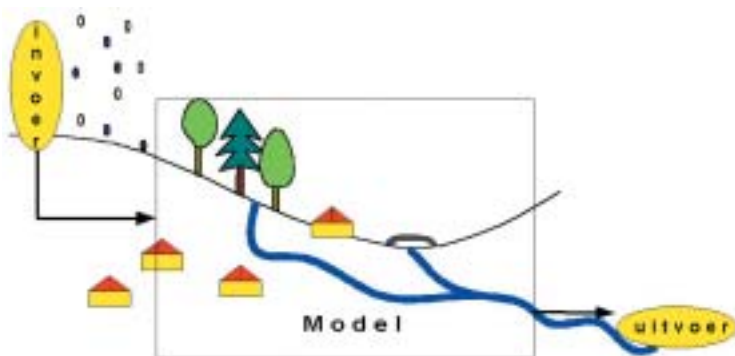
Synoptische oppervlakken houden groepen mesoschaalgebieden samen, grote mesoschaalgebieden bevatten clusters en kleine mesoschaalgebieden. Clusters en kleine meso-

schaalgebieden zijn groepen van cellen. Het verschil tussen beide ligt in de waarde van de intensiteit die de cellen omringt. Daar het niet mogelijk is kleine mesoschaalgebieden van clusters te onderscheiden op de radarbeelden, zullen beide samen behandeld worden onder de noemer 'clusters'.

Als u zich onder een cel bevindt, hebt u pech, want daar is de neerslag geconcentreerd. Even buiten zo een cel is de intensiteit gevoelig lager. Algemeen geldt dat structuurelementen met een kleine oppervlakte en beperkte levensduur een hogere intensiteit hebben. De beweging van deze structuurelementen, hun afmetingen en hun ruimtelijke spreiding in België, zijn in deze studie kwantitatief onderzocht.

## Voortbeweging van neerslagzones

De beweging van de neerslaggebeurtenissen is gevolgd, door gebruik te maken van de correlatiemethode. De correlatie is een maat, die aangeeft hoe goed twee beelden overeenkomen. Het houdt in dat opeenvolgende beelden verschoven en verdraaid worden tot de correlatie tussen de twee beelden maximaal is (figuur 4). De ontwikkelde methode laat toe om beelden te bewegen over fracties van pixels. De correlatie wordt maximaal, als de neerslagbuien elkaar zo goed mogelijk overlappen én de verdeling van de neerslagintensiteiten ongeveer overeenkomt. De afstand waarover de bui verschoven wordt, bepaalt de snelheid van de beweging. De methode is uitermate complex, maar geeft zeer nauwkeurige resultaten. De buien bewegen zich gemiddeld onder een hoek van 8 graden t.o.v. de oost-west richting tegen een snelheid van 50 km/uur.



Figuur 2 : Een model tracht de werkelijkheid te simuleren. Hier dient neerslag als invoer in het model. Als uitvoer wordt het debiet in de waterloop berekend.



## Neerslageenheden

### Als het regent in heel de Benelux...

Bij de bepaling van de synoptische oppervlakken hebben we ervoor geopteerd om enkel die buien te kiezen, die goed ontwikkeld zijn. Deze zijn uit de beeldenreeksen gehaald, door te stellen dat de verhouding van de totale oppervlakte tot de totale omtrek van de neerslaggebeurtenis voldoende groot moet zijn. Synoptische oppervlakken zijn afgelijnd op de beelden, door aaneengesloten groepen pixels waarvoor de neerslagintensiteit groter is dan 0 mm/u, op te zoeken. De grootste aaneengesloten groep wordt in ieder beeld uitgekozen. Deze procedure wordt getoond in *figuur 5*. De oppervlakten en omtrekken van de gekozen groepen zijn bepaald. Vervolgens zijn de afmetingen van deze grote oppervlakken gezocht. Het is duidelijk dat de grillige vormen niet toelaten de afmetingen op een éénduidige manier te beschrijven. Daarom zijn drie maten voorgesteld:

- de maximale afmetingen in de oost-west en noord-zuid richting;
- de maximale afmetingen in de richting van de beweging en loodrecht op de richting van de beweging;
- de afmeting van het middelpunt van het oppervlak tot de rand van het oppervlak in de richting van de beweging en loodrecht op de bewegingsrichting.

Gemiddeld hebben synoptische oppervlakken een uitgestrektheid van ongeveer 400 km en een oppervlakte van  $10^5$  km<sup>2</sup>. Zo kunnen grote synoptische oppervlakken gemakkelijk heel de Benelux bedekken.

### ... dan regent het harder in West- dan in Oost-Vlaanderen...

Clusters zijn gedetermineerd als aaneengesloten groepen pixels met intensiteiten hoger dan die van de omliggende intensiteiten. Daarbij moet de oppervlakte uiteraard groter zijn dan die van één cel. In ieder synoptisch oppervlak kan een hele verzameling clusters gevonden worden. Van alle clusters is de oppervlakte en de omtrek opgemeten. De afmetingen zijn op dezelfde 3 manieren bepaald als beschreven bij de synoptische oppervlakken. Gemiddeld hebben clusters een oppervlakte van 100 km<sup>2</sup> en een uitgestrektheid van ongeveer 10 km.

De verdeling van de clusters in de ruimte is onderzocht. Daarbij is de veronderstelling uit de literatuur overgenomen dat deze verdeling door een Poisson-proces zou kunnen beschreven worden [4]. Er is hierbij een nieuwe benadering ontwikkeld. Het Poisson-proces beschrijft de kans waarmee een cluster op een bepaalde afstand van een andere cluster kan voorkomen. Dit proces wordt volledig bepaald door één parameter. Deze parameter is op twee verschillende manieren gezocht:

- het aantal clusters per eenheid van lengte
- het aantal clusters per eenheid van oppervlakte.

Voor de eerste methode is gebruik gemaakt van de eigenschap dat de tussenafstanden tussen de clusters in een Poisson-verdeling een exponentiële frequentieverdeling volgen. De vorm van deze exponentiële verdeling wordt volledig bepaald door die ene zelfde parameter. Van iedere cluster is het middelpunt geprojecteerd op de oost-west- en noord-zuid-as en op de assen volgens de richting van de beweging en loodrecht op de richting van de beweging. Voor de waargenomen frequentieverdelingen (histogrammen) van de tussenafstanden tussen de projecties van

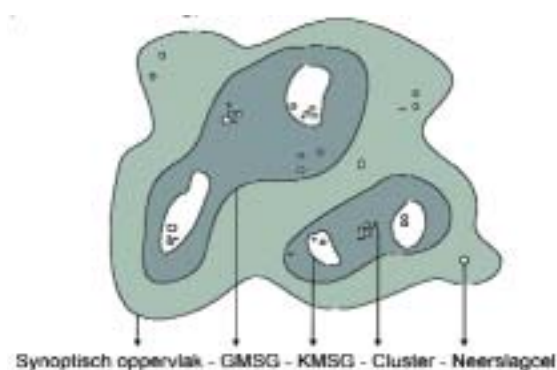
de clustermiddelpunten is de best passende exponentiële verdeling gezocht. De parameter die deze verdeling beschrijft, geeft het aantal clusters per eenheidslengte (*figuur 6*).

Bij de tweede methode wordt het aantal clusters geteld binnen een oppervlakte die aanvankelijk zeer klein is, maar geleidelijk toeneemt in grootte. Het verband tussen het gemiddelde aantal clusters per oppervlakte en de grootte van die oppervlakte is lineair en gaat door de oorsprong. De helling van de rechte geeft het gemiddelde aantal clusters per eenheid van oppervlakte (*figuur 7*).

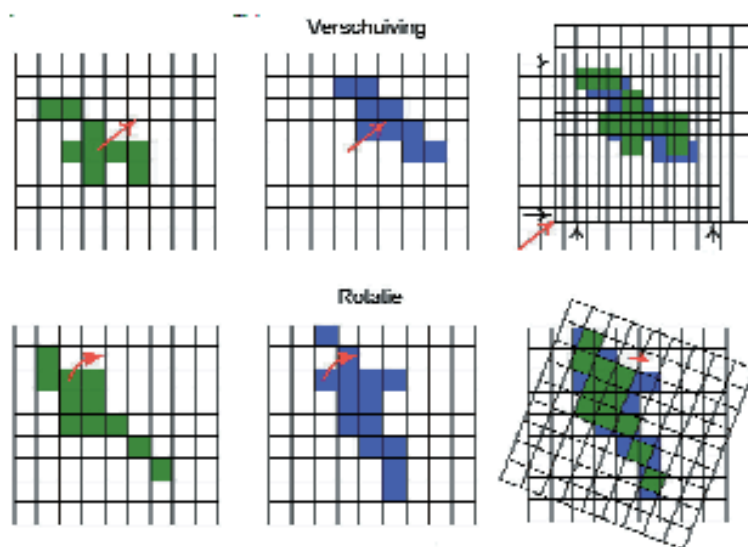
Onafhankelijk van de richting, zijn gemiddeld 0,144 clusters per km gevonden en met de tweede methode zijn gemiddeld  $4,88 \times 10^{-4}$  clusters per km<sup>2</sup> gevonden. De waarden zijn volledig onafhankelijk gevonden en we kunnen bewijzen, dat de resultaten van de ene methode, na omrekening, de resultaten van de andere methode geven. Als er zich in West-Vlaanderen een cluster bevindt, kan men verwachten dat de neerslag in Oost-Vlaanderen veel minder intens is.

### ..en dan giet het in Brussel en motregent het in Ukkel !

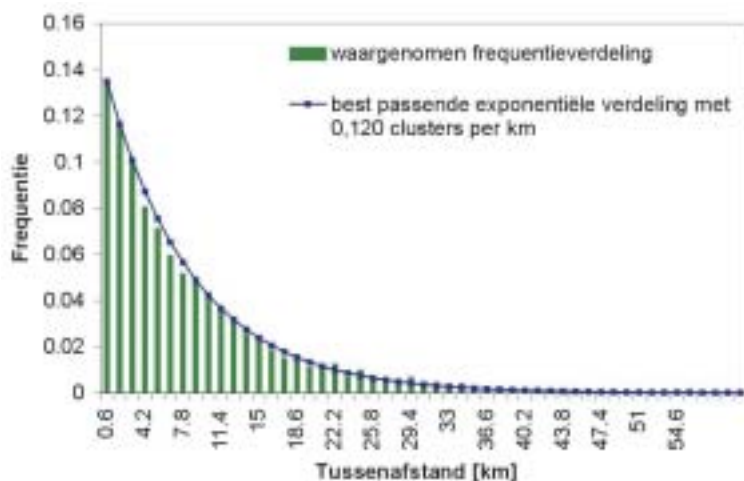
Neerslagcellen werden al eerder door de K.U. Leuven onderzocht, gebruik makend van klassieke regenmeters [5]. De vorm van cellen kan goed beschreven worden door



**Figuur 3 :**  
Kwalitatieve beschrijving van de structuur van een neerslagbui. MSG en KMSG staan voor grote, respectievelijk kleine meso-schaalgebieden.



**Figuur 4:** De radarbeelden worden verschoven en verdraaid (rotatie) tot ze elkaar optimaal bedekken.



Figuur 6 : Bepaling van het gemiddelde aantal clusters per eenheid van lengte op de noord-zuid-as, voor alle beelden die opgenomen zijn op 06/03/1998.

een tweedimensionale Gauss-distributie. De beweging kan door een diffusie-advectievergelijking beschreven worden. Combinatie van deze vergelijkingen leidt tot een uitdrukking waarin verschillende parameters voorkomen, die de karakteristieken van neerslagcellen bepalen.

Deze parameters werden ook met de radarbeelden gezocht. Enkele parameters zijn de snelheid en richting van de beweging van de cellen, de afmetingen in de richting van de beweging en loodrecht op de beweging en de maximale intensiteit in het centrum van de cel. Andere parameters zijn de mate waarin de intensiteit in de tijd afneemt en de cel breder wordt in de richting van de beweging en loodrecht erop. *Figuur 8* stelt schematisch de evolutie van een cel voor.

De cellen zijn op de beelden gezocht als pixels met een veel hogere intensiteit dan de omgeving en voor alle cellen is de



Een degelijk ruimtelijk neerslagmodel kan bijvoorbeeld een betrouwbare

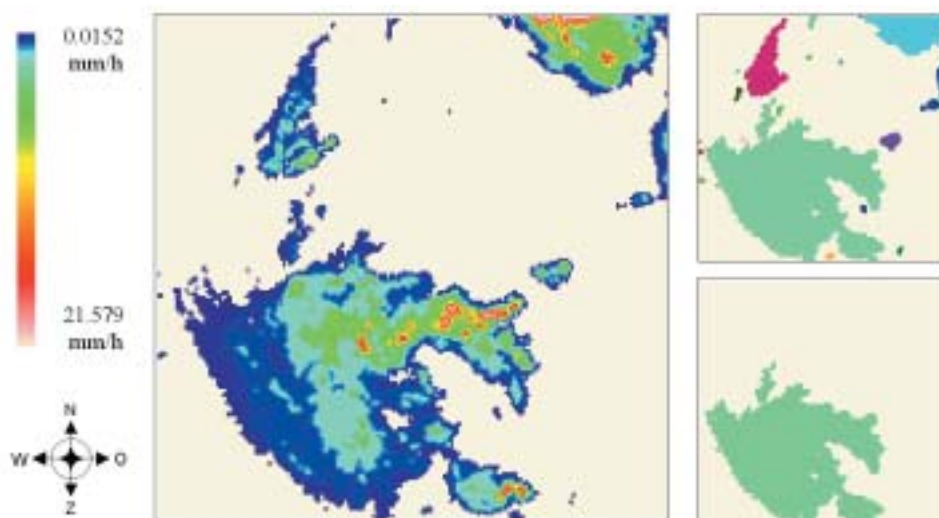
best passende tweedimensionale Gauss-distributie gezocht. Het opvolgen van de cellen in de tijd kon niet nauwkeurig gebeuren, omdat de levensduur van cellen ongeveer even groot is als het tijdsinterval tussen de opnames van de radarbeelden. De afmetingen van de cellen worden

beschreven door de standaardafwijkingen van de tweedimensionale Gauss-distributie in de richting van de beweging en loodrecht erop en bedragen gemiddeld 4,35 km.

Neerslagintensiteiten die op zeer korte afstand van elkaar gelegen zijn, kunnen dus sterk verschillen. Hopelijk denkt u de volgende keer twee keer na, voordat u gegevens uit Ukkel gebruikt als invoer in een model dat de afvoer uit het stroomgebied van de Schelde moet simuleren!

## Resultaten

Voor alle onderzochte karakteristieken zijn de best passende theoretische frequentieverdelingen en hun beschrijvende parameters gezocht, zodat de resultaten onmiddellijk kunnen gebruikt worden in de neerslaggenerator. In dit onderzoek zijn 960 radar-



Figuur 5 : Radarbeeld van 5 juli 1999 om 4.30u. De bovenste kleine figuur toont de groepen van pixels met intensiteiten groter dan 0 mm/u., de onderste kleine figuur toont welk gebied aangeduid wordt als synoptisch oppervlak.



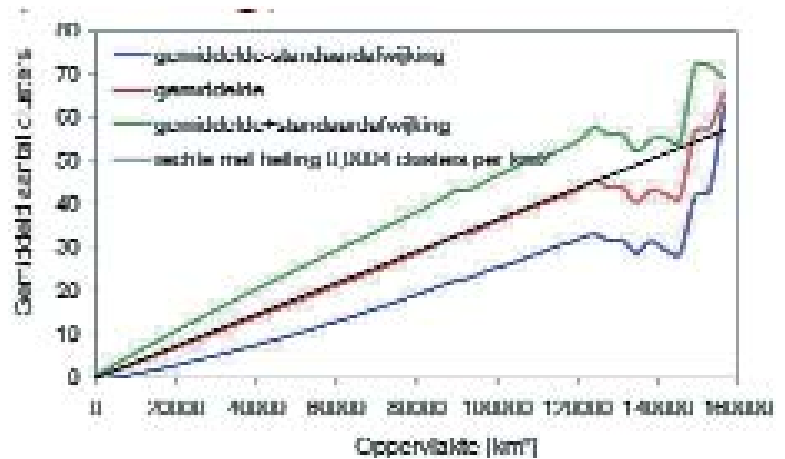
er inzicht geven in de kans op overstromingen.

beelden verwerkt. Er zijn 516 buien, 27.997 clusters en 45.972 cellen bewaard. Het onderzoek loopt nu door om de karakteristieken van verschillende soorten neerslag te achterhalen.

## Nuttige neerslaggegevens

Nu men de ruimtelijke en temporele karakteristieken van neerslag gemakkelijk automatisch kan bepalen, kan er een degelijk ruimtelijk neerslagmodel voor Vlaanderen ontwikkeld worden. Dit model zal neerslag genereren met een ruimtelijk realistisch patroon. Men kan deze gegevens gebruiken als invoer in allerlei modellen. Met nauwkeurige gegevens kan het effect van verschillende soorten neerslag op de afvoer uit een stroomgebied correct bepaald worden.

Zo kan men bijvoorbeeld een beter inzicht krijgen in de kansen op overstromingen. Ook voor het ontwerp van waterbouwkundige constructies is het belangrijk over juiste neerslaggegevens te beschikken. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen dat overdreven sterke of te zwakke brugpijlers gebouwd worden en te grote of te kleine oppervlakten voor stuwmeren

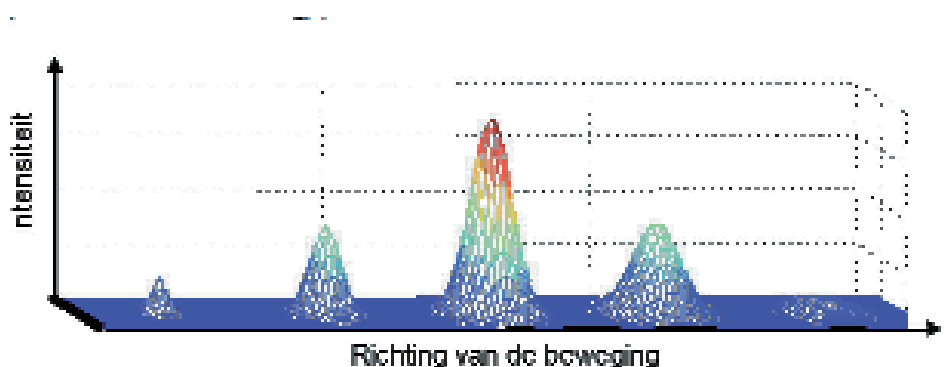


Figuur 7 : Bepaling van het gemiddelde aantal clusters per eenheid van oppervlakte. Het aantal clusters is een gemiddelde voor alle 96 beelden die op 06/03/1998 zijn opgenomen.

worden voorzien. In rioleringsmodellen is ruimtelijk verdeelde neerslag interessant om de dimensies van de leidingen nauwkeuriger te bepalen, zodat enerzijds wateroverlast wordt voorkomen en anderzijds geen onnodige uitgaven worden gedaan. Zoals vermeld, baseert men zich voor beheersbeslissingen tegenwoordig heel sterk op simulatieresultaten. Het is dus heel belangrijk dat deze resultaten zo snel mogelijk nauwkeuriger worden.

## Besluit

De ruimtelijke en temporele karakteristieken van neerslag kunnen succesvol bepaald worden met radarbeelden. Daarvoor zijn verschillende nieuwe technieken ontwikkeld. De resultaten worden nu gebruikt in de ontwikkeling van een ruimtelijk neerslagmodel voor Vlaanderen. Dit neerslagmodel zal meer realistische neerslaggegevens in de ruimte genereren. Zodra deze gegevens zullen gebruikt worden in modellen, verwacht men dat de modelleringsresultaten zullen verbeteren.



Figuur 8 : Schematische voorstelling van de evolutie van een cel in de tijd. De vorm van de cel wordt beschreven door een tweedimensionale Gauss-distributie.

## Referenties

1. Collier, C.G. (2000). Precipitation. In: Schultz, G.A. & Engman, E.T. (eds.) Remote sensing in hydrology and water management. Berlin, Springer Verlag, 111-132.
2. Ulaby, F.T., Moore, R.K. & Fung, A.K. (1982). Microwave remote sensing: active and passive. Volume II: radar remote sensing and surface scattering and emission theory. Norwood, Artech House.
3. Austin, P.M. & Houze, R.A. (1972). Analysis of the structure of precipitation patterns in New England. Journal of Applied Meteorology, 11, 926-935.
4. Rodríguez-Iturbe, I. & Eagleson, P. (1987). Mathematical models of rainstorm events in space and time. Water Resources Research, 23, 181-190.
5. Willems, P. & Berlamont, J. (1998). Stochastic modelling of spatial raincells. In: Weather, H. & Kirkby, C. (eds.) Hydrology in a changing environment, Volume III. Chichester, John Wiley & Sons, 307-318.

## De auteur

Gabriëlle De Lannoy is in juli 2001 afgestudeerd aan de Universiteit Gent als bio-ingenieur in het land- en bosbeheer. Ze heeft haar scriptie gemaakt aan het Laboratorium voor Hydrologie en Waterbeheer onder het promotorschap van prof. dr. ir. F. De Troch en dr. ir. N. Verhoest. Aan hetzelfde laboratorium heeft ze ondertussen enkele maanden gewerkt aan een project. Nu is ze bezig met aan een doctoraat en verblijft hiervoor tijdelijk in het Goddard Space Flight Center van de NASA.

Met dit artikel op basis van haar scriptie werd zij zopas bekroond met de 1<sup>ste</sup> Prijs van de K VIV-Ingenieursprijs Promotie 2001.

E-mail : Gabrielle.Delannoy@rug.ac.be

